



HAL
open science

TP - ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT A LA BOÎTE DE CASAGRANDE / ESSAI TRIAXIAL

Luc Sibille

► **To cite this version:**

Luc Sibille. TP - ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT A LA BOÎTE DE CASAGRANDE / ESSAI TRIAXIAL. Licence. France. 2011. cel-01795697

HAL Id: cel-01795697

<https://hal.science/cel-01795697v1>

Submitted on 6 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT A LA BOÎTE DE CASAGRANDE

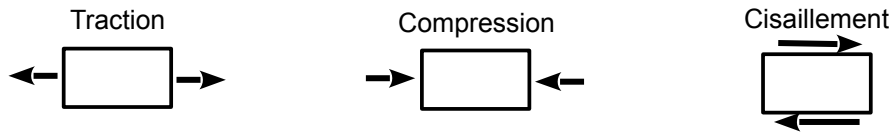
ESSAI TRIAXIAL

NOTICE DU TP

I. Notions prérequis à la réalisation du TP

A) La résistance au cisaillement dans les sols

On peut identifier dans les sols trois principaux types de sollicitations: par **traction**, **compression** ou **cisaillement**.



Etant donné que la cause principale de sollicitation dans les sols est la gravité terrestre, créant des efforts verticaux dirigés vers le bas, on comprend intuitivement que les **contraintes de traction sont en générales absentes**. De plus, on sait que la **résistance à la traction** des sols est très faible voire **nulle**.

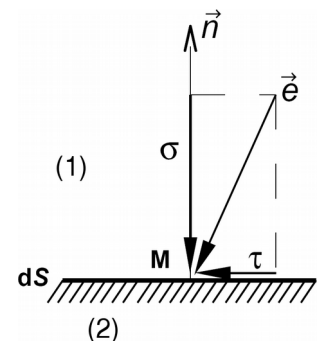
Par ailleurs, la résistance d'un sol à la compression est supérieure à sa résistance aux cisaillement. Ainsi pour **dimensionner** des ouvrages de génie-civil (fondations...), il suffit en général de connaître la **résistance au cisaillement du sol**, car s'il y a **rupture** ce sera suivant ce type de sollicitation.

Pendant ce TP vous mesurerez la résistance au cisaillement d'un sol pulvérulent (**un sable**) avec la boîte de Casagrande, et avec l'appareil triaxial.

B) Contrainte normale et contrainte de cisaillement

En un point M d'un milieu continu (soit ici notre échantillon de sol) on considère une facette d'aire dS infiniment petite et de normale \vec{n} qui sépare le milieu en deux parties notées (1) et (2).

On admet que l'action de la partie (1) sur (2) se traduit au point M, sur la facette dS , par une contrainte notée \vec{e} . Le vecteur contrainte \vec{e} se décompose, par rapport au repère lié à la facette dS , en une **composante normale** σ (suivant \vec{n}) et une **composante tangentielle** τ (comprise dans le plan de la facette) aussi appelée **contrainte de cisaillement**.



Il y a **rupture d'un sol par cisaillement** lorsque la contrainte de cisaillement τ devient « trop importante ». La contrainte de cisaillement maximum que peut supporter un sol (correspondant donc à la rupture) n'est pas unique mais dépend de l'intensité de la contrainte normale.

Illustration: faites glisser votre main sur une table, plus vous appuyez fort dans la direction normale au plan de la table, plus il est difficile de faire glisser votre main.

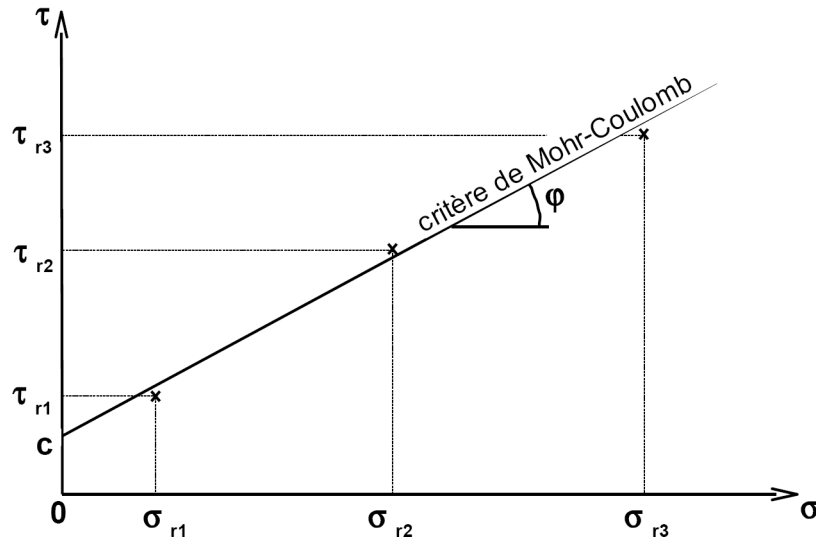
C) Critère de Mohr-Coulomb

Le plan de Mohr est une **représentation plane de l'état de contrainte** dans des axes liés à la facette. L'axe des abscisses ($O\sigma$) est confondu avec la normale à la facette, l'axe des ordonnées est ($O\tau$). Chacun des **états de rupture** dans un sol peut être caractérisé par un couple τ_r et σ_r **représenté par un point** sur le plan de Mohr.

L'ensemble des points représentant différents états de rupture forme une courbe à peu près rectiligne qui sépare le plan de Mohr en deux domaines:

- le domaine sous cette courbe représente l'ensemble des états de **contrainte que peut « supporter » le sol,**
- le domaine au-dessus de la courbe représente l'ensemble des **états de contrainte non accessibles par le sol** (le sol entre en rupture avant)

Etats de rupture et critère de Mohr-Coulomb représentés dans le plan de Mohr.



Cette courbe est correctement approximée par une droite appelée **critère de rupture de Mohr-Coulomb** et définie par l'équation:

$$\tau = \sigma \cdot \tan \varphi + c$$

- φ est appelé **l'angle de frottement**, il représente la pente de la droite et s'exprime en degré.
- c est appelée la **cohésion**. La cohésion traduit l'« effet de colle » que l'on observe dans des argiles ou des sables partiellement saturés, **elle est nulle pour un sable sec.**

II. Essai de cisaillement direct à la boîte de Casagrande

A) Principe de l'essai

Les caractéristiques de résistance au cisaillement d'un sol peuvent être déterminées à partir d'un essai de cisaillement à la "Boîte de Casagrande".

Un échantillon de sol, contenu dans une boîte, elle-même composée de deux demi-boîtes (pour fixer le plan de cisaillement), est soumis à une contrainte verticale σ avant d'être cisailé à vitesse constante. Par conséquent la contrainte de cisaillement τ s'accroît jusqu'à une valeur maximum que l'on mesure. On en déduit l'état de contrainte τ_r, σ_r de l'échantillon de sol à la rupture.

En réalisant plusieurs essais, sur un même matériau, avec différentes valeurs de contraintes verticales, on peut déterminer le critère de rupture de Mohr-Coulomb et définir ses valeurs de cohésion c et d'angle de frottement ϕ .

B) Description de la Boîte de Casagrande

L'échantillon de sol est placé à l'intérieur de demi-boîtes qui peuvent se déplacer horizontalement l'une par rapport à l'autre. Un piston permet d'exercer sur le sol un effort normal N constant pendant toute la durée de l'essai.

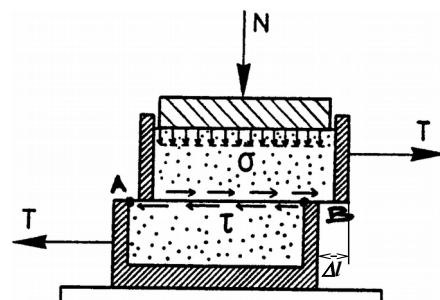
Une demi-boîte est entraînée horizontalement à vitesse constante. A tout instant, on mesure la force de cisaillement T . Un second comparateur vertical permet de mesurer la variation de hauteur Δh de l'échantillon.

On exerce sur le plan de séparation AB des deux demi-boîtes une contrainte dont les composantes normale et tangentielle ont pour valeur moyenne:

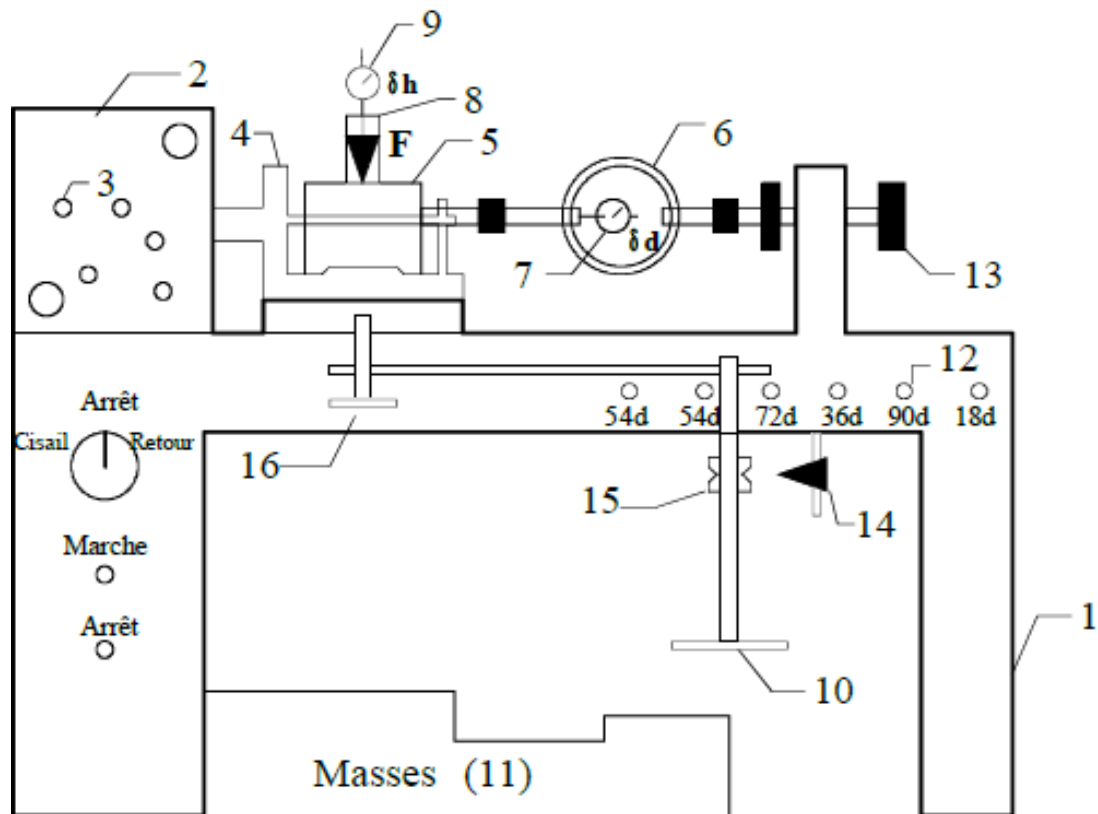
$$\sigma = \frac{N}{A_c} \quad \tau = \frac{T}{A_c}$$

où A_c est la section corrigée de l'éprouvette (cette section variant en fonction du déplacement relatif Δl).

Un schéma global du bâti de chargement sur lequel est fixée la boîte de Casagrande est présenté à la page suivante.



Machine de cisaillement



- 1 : Bâti de la machine
- 2 : Bloc moteur
- 3 : Axes supports de pignons
- 4 : Partie mobile du bâti, support de la boîte
- 5 : Boîte de cisaillement
- 6 : Anneau dynamométrique
- 7 : Compateur de déf. de l'anneau
- 8 : Etrier de chargement
- 9 : Mesure de δh
- 10 : Plateau supportant les masses
- 12 : Pignons en attente
- 13 : Volant d'approche de l'anneau
- 14 : Pointeau
- 15 : Bague de contrôle
- 16 : Volant de réglage

C) Préparation des essais

1. Contraintes verticales

Au cours de la séance de T.P. vous travaillerez sur un sable sec. Vous réaliserez deux essais pour les valeurs de contraintes normales suivantes :

Essai n°1 : $\sigma = 50 \text{ kPa}$,

Essai n°2 : $\sigma = 150 \text{ kPa}$.

Les masses à disposer sur le plateau de l'étrier (n° 10) sont fonction de la contrainte verticale σ souhaitée, de la section initiale de l'échantillon de sable (6 cm de côté) et du bras de levier qui permet de multiplier par un facteur 5 la force créée par la mise en place des masses.

Calculer les masses à utiliser pour appliquer les contraintes normales détaillées ci-dessus.

2. Vitesse

La vitesse de cisaillement est conditionnée par le type d'essai que l'on veut réaliser. Pour un essai non drainé, ou sur sol sec, nous pouvons travailler avec une vitesse relativement élevée de 1 mm/min.

3. Préparation des échantillons

Vous allez réaliser deux échantillons en disposant du sable dans les boîtes qui sont à votre disposition. Pour chaque boîte, les demi-boîtes inférieure et supérieure ainsi que le piston sont numérotés: **veillez à ce que les éléments correspondent les uns aux autres et que les numéros soit alignés.**

1. Avant de remplir une boîte de sable, placez correctement les deux demi-boîtes l'une par rapport à l'autre et solidarisez les à l'aide des goupilles en aluminium.
2. Vissez ensuite les trois vis métalliques sur la demi-boîte supérieure. A partir du moment où elles arrivent en contact avec la boîte inférieure, vissez les vis d'un quart de tour supplémentaire. De cette manière, vous surélevez très légèrement la boîte supérieure, et vous évitez alors que le frottement des demi-boîtes l'une sur l'autre altère la mesure.
3. Placer la boîte, sans le piston, sur la balance et la remplir d'environ 250 g de sable.
4. Compacter le sable en effectuant un piquage. Veillez à ce que le compactage soit identique dans les différents échantillons, en piquant le même nombre de coups à chaque préparation (par exemple effectuer deux tours de piquage avec 10 piquages par tour). L'angle de frottement dépend de la densité de l'échantillon de sable.
5. Refermez la boîte avec le piston, celui-ci doit venir affleurer la partie supérieure de la demi-boîte supérieure.

4. Montage de la boîte de cisaillement sur le bâti de chargement

1. Fixez la boîte de cisaillement remplie de sable sur le chariot mobile (n° 4) du bâti de chargement en serrant les vis papillons. N'ENLEVEZ PAS ENCORE LES GOUPILLES.
2. Maintenir avec une main l'étrier de chargement (n° 8) en contact avec le piston de la boîte, régler en même temps l'horizontalité du bras de levier en tournant le volant (n° 16). Le pointeau (n° 14) doit être aligné avec la gorge de la bague (n° 15).
3. Chargez alors le plateau des masses préalablement calculées afin de d'appliquer la contrainte normale désirée.
4. Positionner et bloquer l'anneau dynamométrique (le ressort supportant l'anneau dynamométrique permet de compenser le poids de l'anneau en le maintenant dans une position horizontale). Si l'anneau dynamométrique n'est pas correctement en contact avec la queue de la demi-boîte supérieure, tournez le volant (n° 13) dans le sens des aiguilles d'une montre pour réaliser cette opération. Reliez ces deux éléments par vissage.
5. Pour supprimer les jeux, vous exercerez un léger effort de traction à l'anneau. Pour cela, agissez sur le volant (n° 13) dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Arrêtez-vous lorsque le capteur de l'anneau indique une valeur proche de -0.05 mm.
6. Pour mesurer le déplacement vertical du piston (fonction du gonflement ou du tassement de l'échantillon en cours d'essai), placez un comparateur sur la partie supérieure de l'étrier et réglez son zéro de manière à ce que la tige du comparateur soit à mi-course.
7. Dévisser de quelques tours les trois vis métalliques de la demi-boîte supérieure. La demi-boîte supérieure reste bloquée verticalement par frottement avec le sable et il n'y a plus aucun contact physique parasite (pas même par l'intermédiaire des vis) risquant de fausser les mesures de cisaillement.

5. Mise en route de l'essai

Pour le premier essai, demandez une vérification de l'enseignant, merci.

1. ATTENTION : RETIRER MAINTENANT LES DEUX GOUPILLES ! (La valeur du cisaillement qui nous intéresse est celle du sol et non celle de l'aluminium...)
2. Positionner l'interrupteur rotatif sur « cisaillement ».
3. Vous pouvez alors procéder au démarrage de l'essai en appuyant sur le bouton « marche ».
4. Vous effectuerez, toutes les 15 secondes, les mesures :
 - de la déformation de l'anneau dynamométrique,
 - et du déplacement vertical du piston
5. La rupture de l'éprouvette se produit au bout de quelques minutes et correspond à un maximum de déformation de l'anneau dynamométrique. Vous poursuivrez l'essai jusqu'à obtenir une décroissance régulière de l'effort.
L'essai pourra alors être considéré comme étant terminé et vous pouvez appuyer sur le bouton « arrêt ».

6. Démontage de l'essai

1. Positionner l'interrupteur rotatif sur « arrêt ».
2. Dégager le comparateur de mesure de déplacement du piston, puis décharger le plateau
3. Enlever la tension de l'anneau dynamométrique en vissant le volant (n° 13), puis libérer l'anneau du côté de la boîte avant de retirer cette dernière du bâti.
4. RAMENER LA PARTIE MOBILE DU BÂTI A SA POSITION INITIALE. Pour cela, positionner l'interrupteur sur la position « retour », puis appuyer sur « marche ». La machine s'arrête automatiquement lorsque la position initiale est atteinte.

III. Exploitation des résultats de cisaillement direct

A) Expressions utiles au dépouillement des mesures

1. Calcul de la force de cisaillement

$$T = k \cdot |\Delta d|$$

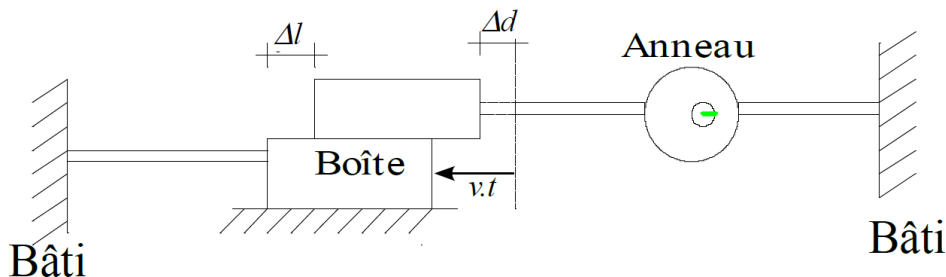
avec:

T: force de cisaillement,

k: Constante de l'anneau dynamométrique $k = 0.187$ kN/mm,

Δd : Déplacement correspondant à l'allongement de l'anneau.

2. Calcul de la contrainte normale et de la contrainte de cisaillement avec prise en compte de la variation de la section de l'échantillon



A un temps donné t on définit A_c comme la **surface corrigée de l'éprouvette** (surface de contact entre les deux demi-boîtes):

$$A_c = l \times (l - \Delta l)$$

avec:

l : longueur initiale de l'échantillon $l = 6$ cm.

Δl : variation de la longueur de l'échantillon à un instant donné (on prend en compte le déplacement de la demi-boîte inférieure et l'allongement de l'anneau dynamométrique):

$$\Delta l = v.t - |\Delta d|$$

v est de vitesse de déplacement de la demi-boîte inférieure, t le temps et Δd l'allongement de l'anneau dynamométrique.

A partir de la surface corrigée A_c on peut calculer à tout instant les valeurs des contraintes normale et tangentielle:

$$\sigma = \frac{N}{A_c} \qquad \tau = \frac{T}{A_c}$$

B) Exploitation et analyse des résultats

A partir des mesures, et des calculs précédents:

1. Tracer les deux courbes de la contrainte de cisaillement τ en fonction du déplacement horizontal Δl des deux demi-boîtes, sur un même graphique.
2. Tracer les deux courbes de déplacement vertical du piston Δh , qui traduisent le tassement/gonflement de l'échantillon, en fonction de Δl , sur un même graphique.

→ Commentez l'ensemble des courbes tracées et expliquez les variations de volume obtenues.

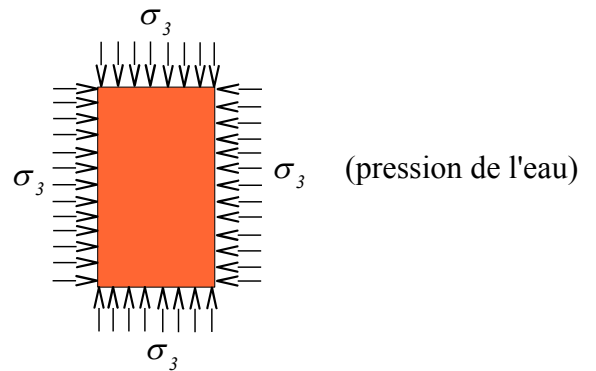
3. Placer les deux points représentant les deux états de rupture du sol sur le plan de Mohr tracé sur du papier millimétré.

→ Ce graphique dans le plan de Mohr sera ensuite complété avec les résultats que vous obtiendrez dans la suite de ce TP à partir de l'essai triaxial (vous en déduirez alors les valeurs de la cohésion c et de l'angle de frottement φ du sable).

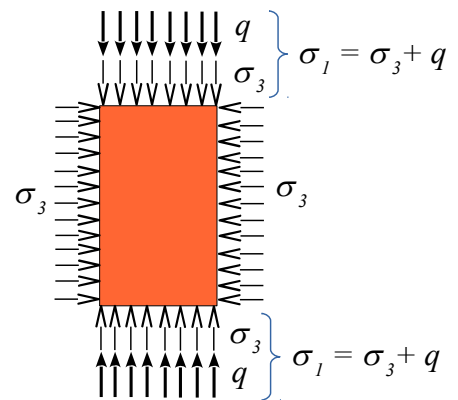
IV. Essai de compression triaxiale

A) Principe de l'essai

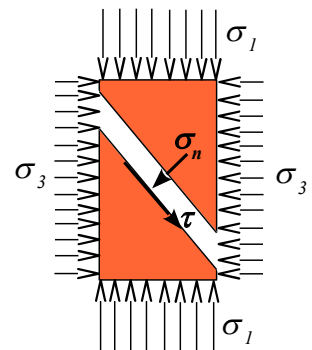
L'échantillon cylindrique, est placé dans une cellule où il est soumis à un champ de contrainte uniforme de confinement σ_3 par accroissement de la pression d'eau dans la cellule (l'eau de la cellule ne pénètre pas dans l'échantillon celui-ci étant placé dans une membrane étanche).



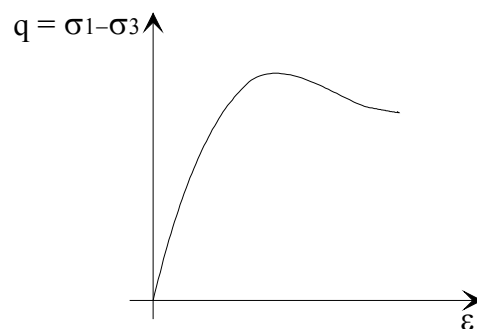
Une fois cette contrainte de confinement appliquée, un piston permet de comprimer l'échantillon dans la direction axiale (c'est-à-dire verticale). Le piston crée alors un accroissement de contrainte dans la direction axiale appelé déviateur de contrainte q . La contrainte axiale totale est alors $\sigma_1 = \sigma_3 + q$.



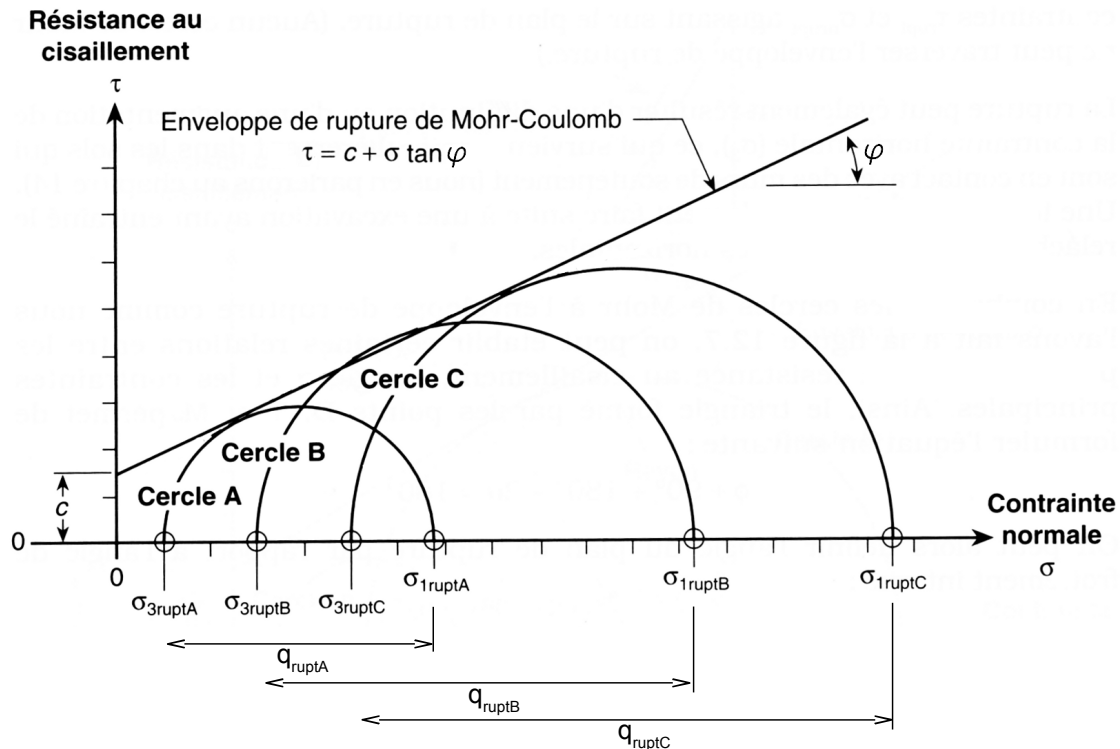
Du fait de la différence de contrainte entre la direction radiale et axiale, égale au déviateur de contrainte q , il se crée au sein de l'échantillon sur des plans d'inclinaison quelconque des contraintes de cisaillement τ . En augmentant la force sur le piston et donc la valeur de q , les contraintes de cisaillement τ sur les plans inclinés augmentent jusqu'à un maximum provoquant la rupture de l'échantillon.



L'essai consiste à faire croître le déviateur de contrainte q (et donc les contraintes de cisaillement) à vitesse de déformation constante jusqu'à la rupture de l'échantillon tout en maintenant la contrainte de confinement σ_3 constante. On en tire la courbe:



Les cercles de Mohr à la rupture (c'est-à-dire pour les valeurs de σ_1 et σ_3 obtenues pour le maximum de q) tracés dans le plan Mohr sont tangents au critère de rupture de Mohr-Coulomb. Il est donc possible d'en déduire les valeurs de cohésion c et d'angle de frottement φ du matériau testé.



B) Description du banc d'essai

L'ensemble du dispositif d'essai est représenté sur le figure de la page suivante, il comprend:

- une cellule triaxiale dans laquelle est placé l'échantillon de sol à tester,
- une presse qui permet d'imposer un déplacement au piston de la cellule à vitesse constante et donc d'écraser l'échantillon dans la direction verticale (axiale),
- un circuit d'eau et d'air présenté sous forme de tableau afin d'imposer la pression d'eau choisie à l'intérieur de la cellule triaxiale.

Remarque: on peut considérer qu'il y a deux circuits différents sur le tableau : le circuit de remplissage de la cellule ("**Circuit Eau**", tuyaux de **couleur bleue**) et le circuit de mise en pression ("**Circuit Air**", tuyaux de **couleur blanche**). De plus il y a deux voies possibles, ce qui permet de préparer deux échantillons en parallèle (Voie A à gauche du tableau, non représentée sur le figure ici; et Voie B à droite du tableau). **Seule la voie B sera utilisée lors du TP.**

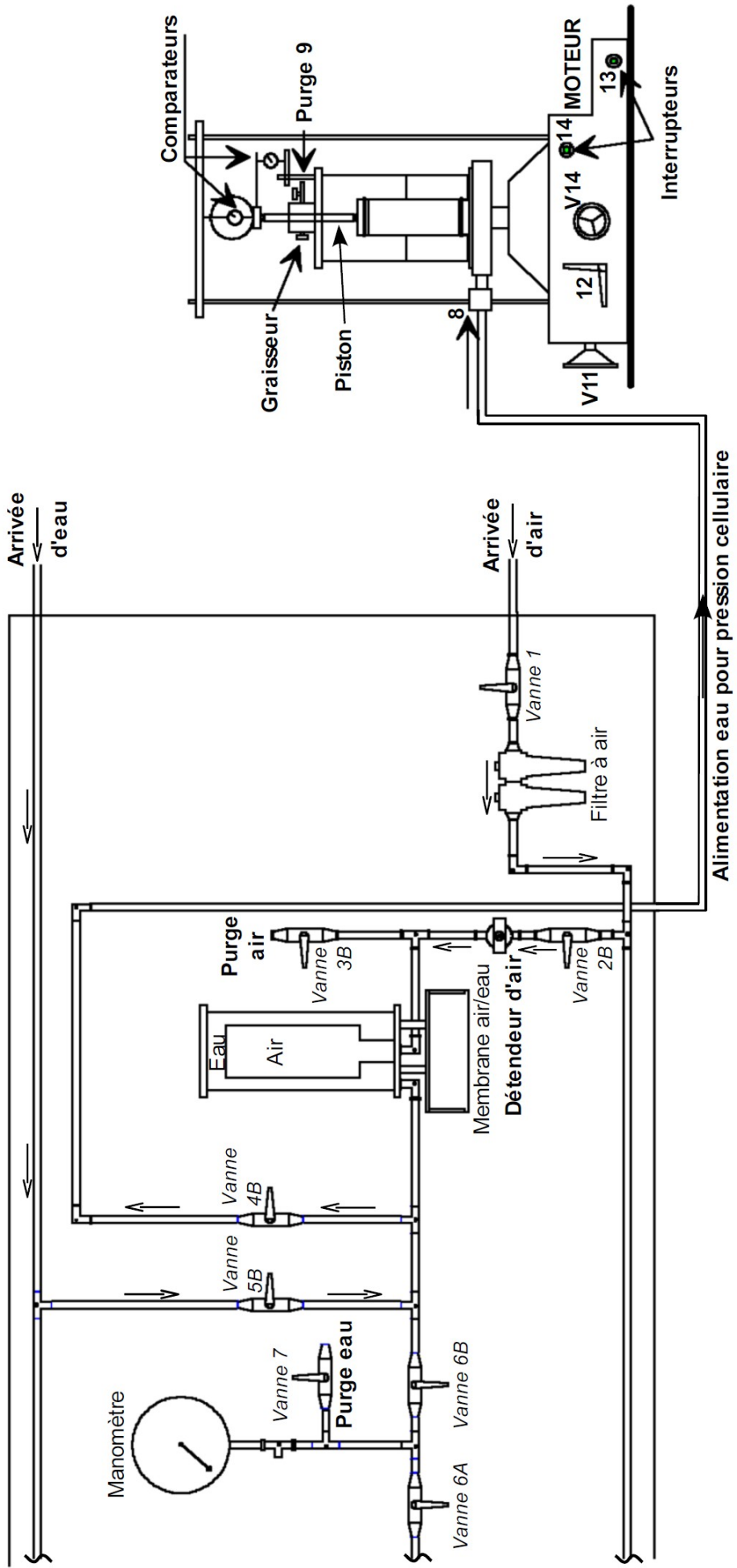


Schéma de principe de la cellule triaxiale et du circuit de commande

C) Préparation de l'essai

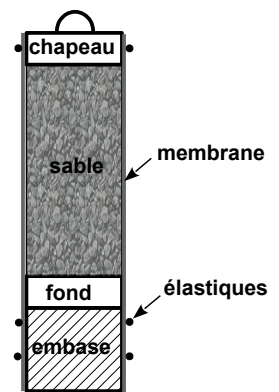
Vous allez réaliser un essai de compression triaxiale de type Consolidé Drainé (CD) sur du sable sec. Le sable étant sec, cela revient à considérer une pression d'eau interstitielle u nulle, les contraintes appliquées à l'échantillon σ_1 et σ_3 seront donc équivalentes à des contraintes effectives σ_1' et σ_3' .

Vous réaliserez un seul essai pour une contrainte de confinement $\sigma_3 = 70 \text{ kPa}$.

1. Préparation de l'échantillon

La réalisation d'un échantillon se fait directement sur l'embase de la cellule.

1. Positionnez une membrane sur cette embase. Disposez alors deux élastiques à la base de celle-ci afin de garantir, au cours de l'essai, l'étanchéité de l'échantillon. Pour placer les élastiques, montez d'abord ceux-ci sur le morceau de tube plastique à disposition puis « faites les sauter » du tube en plastique à la position où vous souhaitez les mettre sur l'embase.
2. Vous pouvez mettre en place le fond de moule en "Plexiglas" à l'intérieur de la membrane, puis assembler autour de l'embase le moule métallique en trois parties que vous solidarisez avec sa bague métallique.
3. Avant de retourner la membrane sur la partie supérieure du moule en limitant au maximum les bulles d'air entre le moule et la membrane, positionnez un élastique sur cette même partie haute du moule (en temps voulu vous ferez « sauter » cet élastique du haut du moule sur le chapeau en "Plexiglas").
4. Remplissez l'éprouvette en 3 couches en compactant le sable par piquage. Le moule doit être rempli de sable à « ras bord ».
5. Vous pouvez alors mettre en place le chapeau en "Plexiglas" servant à transmettre les efforts sur l'éprouvette. Remontez la membrane le long de cet élément et étanchez cette zone en faisant sauter l'élastique du haut du moule sur le chapeau.
6. En étant très délicat démoulez votre échantillon. Si il n'est pas trop déformé vous pourrez continuer; sinon recommencez l'opération! **Prenez la hauteur de l'éprouvette (h_0)**, vous en aurez besoin... Vous pouvez fermer la cellule mais... attention, positionnez correctement le vérin sur la rotule supérieure du chapeau de l'échantillon. **VOTRE ECHANTILLON EST PRET !!!!!**



2. Mise en place de la cellule sur la presse de chargement

1. Posez la cellule renfermant l'échantillon à tester sur le plateau de la presse de chargement.
2. Mettre en contact, à l'aide du volant **11**, le piston de la cellule avec l'anneau dynamométrique (il ne faut pas à ce stade appuyer sur le piston, celui doit donc seulement être en contact avec l'anneau sans exercer d'effort).
3. Fixez le flexible d'alimentation à la cellule en **8 (robinet de couleur rouge)**

3. Remplissage de la cellule (sur la voie B)

1. Pour remplir la cellule en eau il faut d'abord ouvrir la vanne de la cellule (en 8) et la vanne 4B pour mettre en communication la cellule avec le tableau.
2. Il faut ensuite dévisser légèrement la purge de la cellule (9) pour permettre à l'air de sortir de la cellule lors de son remplissage.
3. Ouvrez maintenant la vanne 5B pour permettre à l'eau du réservoir d'alimenter la cellule. Lorsque l'eau atteint le haut de la cellule et s'écoule par le purge (9), revisser alors la vis de purge pour fermer celle-ci. Fermez également la vanne 5B pour isoler le réservoir dont nous n'avons plus besoin.

4. Application de la contrainte σ_3 (contrainte radiale exercée par l'eau dans la cellule)

Demandez une vérification de l'enseignant avant d'aller plus loin, merci.

1. Ouvrir la vanne 6B pour vous permettre de lire la pression d'eau sur les manomètres digital et à aiguille.
2. Assurez vous que le détendeur d'air est fermé (c'est-à-dire dévissé) pour éviter d'avoir une mise en pression brutale de la cellule. Ouvrez la vanne 1 puis 2B pour alimenter le circuit en air comprimé.
3. Vissez le bouton du détendeur afin d'appliquer la pression souhaitée que vous contrôlerez par une simple lecture sur le manomètre.

5. Mise en route de l'essai et mesures

Vous pouvez commencer l'essai, mais pour éviter tout problème de bon fonctionnement suivez les étapes suivantes.

1. Abaissez le levier 12 à l'horizontale (débrayage ou embrayage du mouvement vertical manuel rapide) et tourner le volant 11 dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour assurer le débrayage.
2. Tournez le volant 14 pour assurer le contact entre le haut de la presse, l'anneau dynamométrique, et le piston de la cellule, jusqu'à l'obtention d'une légère variation de la valeur du comparateur de l'anneau.
3. Positionner le comparateur des déformations sur "l'ergot" de la cellule et régler son zéro.
4. Mettez le moteur en route à l'aide de l'interrupteur 13.
5. L'essai commence lorsque le système est embrayé à tirant sur le bouton 14 pour embrayer le moteur avec la presse.

Notez les valeurs lues sur les deux comparateurs (δd pour l'anneau et δh pour le déplacement du piston) dans un tableau. Effectuez ces mesures tous les 0,5 mm de déplacement du piston.

Vous effectuerez ces relevés tant que vous n'avez pas atteint la rupture de l'éprouvette. Cette rupture

correspond à un maximum de déformation de l'anneau (δd max.). Pour être sûr que ce maximum correspond bien à la rupture, n'arrêtez la machine qu'après avoir constaté une décroissance régulière de l'effort sur l'anneau.

6. Arrêt et démontage de l'essai

1. Débrayez la machine en appuyant sur le bouton 14 puis positionnez l'interrupteur 13 sur arrêt.
2. Pour annuler la pression d'eau dans le circuit, dévisser le détendeur d'air pour le fermer puis fermer les vannes 2B et 1 pour isoler le circuit de l'arrivée d'air comprimé. Enfin, ouvrez la vanne 3B de purge d'air comprimé jusqu'à ce que le manomètre soit revenu à une pression nulle.
3. Fermer alors toutes les vannes du circuit (4B, 6B...) pour revenir à sa configuration initiale, ainsi que la vanne 8 sur le cellule.
4. Pour ôter la cellule du plateau de la presse remettez vous en position manuelle en levant le levier 12. En tournant le volant 11 dans le sens anti-horaire vous abaissez le plateau de la presse. Après avoir retiré le flexible d'alimentation de la cellule vous pourrez retirer celle-ci du bâti et la poser sur l'évier.
5. Videz l'eau dans l'évier en ouvrant la vanne 8 et en dévissant un peu la vis de purge. **Prenez note de la forme de l'échantillon ainsi déformé.**
6. Démontez l'échantillon proprement en remplaçant le sable dans son récipient.

V. Exploitation des résultats de l'essai triaxial

A) Calcul du déviateur de contrainte q

1. Calcul de la force verticale transmise par le piston

- La force F_A mesurée avec l'anneau dynamométrique est déduite de la déformation δd de ce dernier par:

$$F_A = k \cdot \delta d$$

avec k la constante de l'anneau obtenue par étalonnage : $k = 0,905$ kN/mm.

- A cette force mesurée s'ajoute le poids P de l'anneau dynamométrique et du piston venant appuyer sur l'échantillon. Ce poids est égal à $P = 0,0184$ kN.
- De plus la pression d'eau dans la cellule pousse le piston vers le haut. Cette force de pression F_p est donc à retrancher à la force mesurée par l'anneau. Calculez la force F_p sachant que le piston a un diamètre de 15,7 mm et connaissant la pression d'eau appliquée dans la cellule.
- La force totale F appliquée en tête de l'échantillon est donc: $F = F_A + P - F_p$

2. Calcul de la surface corrigée de l'échantillon et du déviateur de contrainte

En supposant que le volume initial de l'échantillon reste constant au cours de l'essai et que l'échantillon reste cylindrique au cours de sa déformation, la section corrigée A_c de l'échantillon est donnée par:

$$A_c = \frac{V_0}{h_0 - \delta h}$$

avec:

- V_0 le volume initial de l'échantillon,
- h_0 la hauteur initiale de l'échantillon,
- δh le raccourcissement de l'échantillon.

Le déviateur de contrainte $q = \sigma_1 - \sigma_3$ est alors calculé suivant l'expression:

$$q = F / A_c$$

B) Calcul de la déformation axiale

La déformation axiale de l'échantillon au cours de l'essai est donnée par:

$$\varepsilon = \delta h / h_0$$

C) Travail demandé

1. Justifiez (ou non) à partir de vos observations l'hypothèse faite sur la déformation de l'échantillon pour le calcul de la section corrigée A_c .
2. A partir des calculs précédemment expliqués, tracez la courbe $q = f(\varepsilon)$
→ Pour quelle valeur du déviateur de contrainte la rupture se produit-elle?
3. A partir de la précédente courbe, tracer le cercle de Mohr à la rupture pour cet essai triaxial sur le même plan de Mohr que celui déjà utilisé pour l'essai à la boîte de Casagrande.
→ Comparez ce résultat avec ceux obtenus à la boîte de Casagrande,
→ En déduire le critère de Mohr-Coulomb pour ce sable en précisant les valeurs de la cohésion c et l'angle de frottement φ du sable.

N'oubliez pas d'apporter une conclusion à votre travail.

Valeurs indicatives de la cohésion et de l'angle de frottement pour des matériaux pulvérulents
(non cohésifs)

Enrochements, graviers, sables et limons non plastiques

Cohésion : $c' = 0$

Angle de frottement interne :

Enrochements : $\varphi' = 40 - 45^\circ$

Gravier sableux, sable ou gravier à granulométrie étalée : $\varphi' = 30 - 35^\circ$ voire 40°

Sable à granulométrie uniforme, limon non plastique : $\varphi' = 20 - 30^\circ$